

Интенсивность разложения подстилки в высокопродуктивных сосняках
сформировавшихся на землях вышедших из под сельскохозяйственного использования в
Караульном лесничестве

Мельник А.И., Мамедова С.К., Попова В.В., Андропова А.А., Лузина Е. Ф.,
Мантулина А. В., Немич В.Н.

Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика
М.Ф. Решетнева, 660037, г. Красноярск, проспект им. газеты Красноярский рабочий, 31

Основная масса углерода, накопленного надземной частью лесных экосистем, возвращается в атмосферу в процессе разложения мортмассы в верхних горизонтах почвы. Лесная подстилка играет в этом процессе ключевую роль. При этом в ней может содержаться существенная часть углерода экосистемы. Отношение поступления опада и скорости его разложения определяют запас накопившейся подстилки [3,5,7].

На интенсивность процессов разложения лесной подстилки оказывают влияние целый ряд факторов, в том числе состав и возраст насаждений, условия произрастания, температура и влажность почвы, pH среды, минеральный состав почв, рекреационная нагрузка и др.. Так в старовозрастных насаждениях объемная влажность подстилки выше, чем в насаждениях меньшего возраста [4], при этом с возрастом интенсивность разложения растительных остатков в подстилке снижается в связи с накоплением в ней медленно разлагающихся компонентов (шишки, кора, ветви и др.) [1]. Рекреационное воздействие приводит к замедлению процесс разложения и накоплению лесной подстилки[5].

Известно, что лиственные подстилки разлагаются интенсивнее, чем хвойные. Как показывают исследования Э. Ф. Ведровой и Т. В. Решетникова, в годичном цикле разложения в 40-летних культурах максимальным снижением массы характеризуется подстилка древесных видов, ежегодно сбрасывающих листву: 742 г на м²/год - лиственница, 300 г на м²/год - осина и г на м²/год - берёза. В хвойных насаждениях разлагающаяся в течение года масса растительного вещества уменьшается под кедром и сосной на 253 г на м²/год и 307 г на м²/год, под елью – лишь на 110 г на м²/год. [2].

В сосняках Учебно-опытного лесхоза СибГУ им. М.Ф. Решетнева на землях вышедших из под сельскохозяйственного пользования формируется большой запас подстилки. При этом древостои отличаются высокой производительностью (Таблица 1).

При этом в них накоплены большие объемы лесной подстилки [8]. Задачей исследования является оценка интенсивности разложения подстилки.

Таблица 1 – Таксационные характеристики пробных площадей

Таксационные показатели	ПП № 1	ПП № 2
Площадь	0,4242	0,2684
Состав	10С	10С
Дср (см)	26,3	20,3
Нср (см)	19,34	23,2
Р	1,5	1,56
N (шт. на пп)	292	462
М (м ³ на пп)	222,5	166,7
М (м ³ на га)	484	621
Тип леса	Сосняк разнотравный	Сосняк осочково-разнотравный

Для изучения процессов формирования запасов лесной подстилки необходимо оценить интенсивность ее разложения.

Осенью 2021 года на двух пробных площадях были взяты образцы по десять образцов подстилки (с участка 20х20 см) определен фракционный состав и общий запас на 1 га [8] (Таблица 2).

Таблица 2 – Фракционный состав подстилки

Фракция	Доля в общей массе, %	Средняя масса образца с участка 20х20 см в абсолютно-сухом состоянии, гр.	Запас подстилки в абсолютно сухом состоянии, т/га	Запас углерода, т/га
ПП №1				
Крупные древесные остатки	6,86	128,4	30,9	12,3
Шишки	9,49			
Кора	2,74			
Сухая трава	1,81			
Хвоя	1,09			
Ферментированная масса	65,14			
Гумифицированная масса	12,87			
ПП № 2				
Крупные древесные остатки	7,06	295,0	66,5	26,6
Шишки	7,61			
Кора	0,98			
Сухая трава	0,03			
Хвоя	0,50			
Ферментированная масса	59,13			
Гумифицированная масса	24,68			

Исследование проводится методом «изоляции», который базируется на определении интенсивности и удельной скорости разложения фиксированной массы растительных остатков на поверхности и в толще почвы [123, 124]. Для этого в конверты из инертного хорошо проницаемого материала, размером около 10х10 см закладывалась смесь фракций пропорционально доле в общей массе. Материал высушивали до достижения постоянной массы в воздушно-сухом состоянии. Масса образцов определялась с точностью до 0,01 г. В конце ноября 2021 года, на каждой пробной площади заложено по 20 образцов подстилки. При этом конверты с образцами размещались в лесной подстилке таким образом, чтобы минимизировать нарушение естественных условий.

Для учета температуры почвы также были установлены автоматические термометры. Датчики EClerk-M-T были размещены на глубине 10 см, и настроены на фиксацию показаний каждые 2 часа. Полученные данные отражены на температурных графиках на рис. 1 и 2.

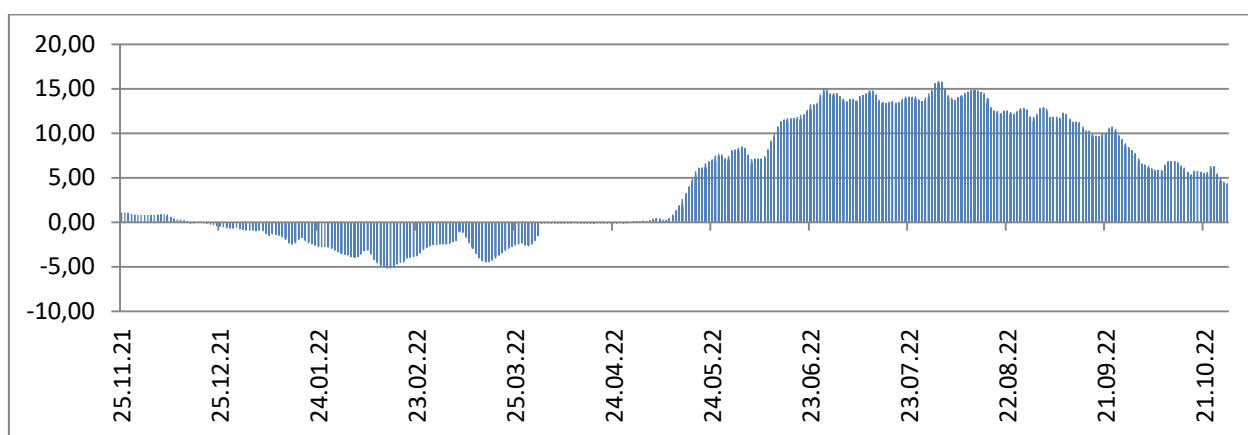


Рисунок 1 – График температуры почвы на глубине 10см (пробная площади №2)

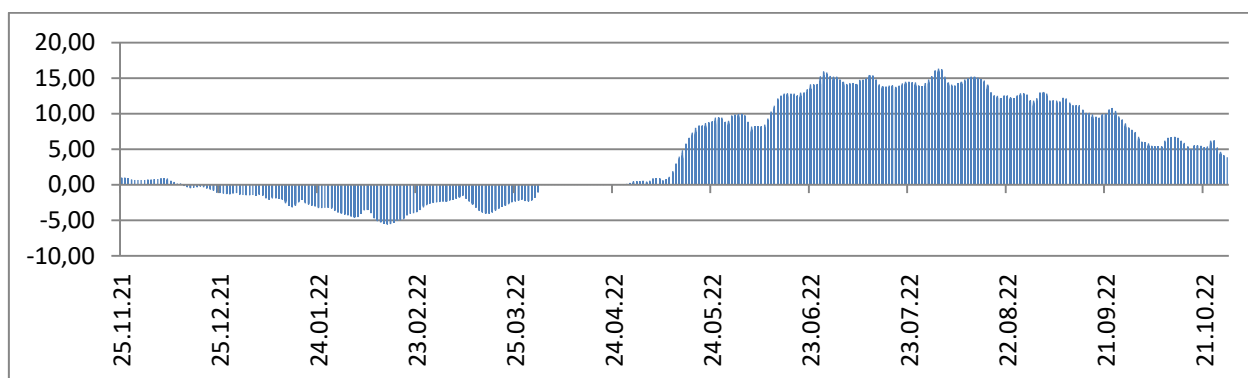


Рисунок 2 – График температуры почвы на глубине 10см (пробная площади №1)

Есть небольшая разница в конце мая, несколько более быстрый прогрев почвы на пробной площади №1 вероятно связан с меньшей полнотой древостоя в месте установки

прибора. Некоторое влияние мог оказать низовой пожар, прошедший на данном участке пробной площади. В целом значения температур очень близки имеющиеся различия не оказали существенного влияния.

В конце октября 2022 года с каждой пробной площади были взяты половина образцов. Часть образцов первой пробной площади пострадала и при низовом пожаре и в расчет не бралась. Оставшаяся часть будет изучена еще через год (Таблица 3,4).

Таблица 3 – Интенсивность разложения подстилки на ПП1, г

ПП №1	Масса навески в воздушно сухом состоянии, г		Доля неразложившейся подстилки
	Начальная C _t	Через год C ₀	
ПП1-4	30	14,17	0,472
ПП1-6	30	13,5	0,450
ПП1-7	30	13,65	0,455
ПП1-10	30	12,73	0,424
ПП1-14	30	12,51	0,417
ПП1-15	30	12,59	0,420
ПП1-17	30	12,74	0,425
ПП1-19	30	12,73	0,424
Среднее	30	13,078	0,436

Таблица 4 – Интенсивность разложения подстилки на ПП2, г

ПП №2	Масса навески в воздушно сухом состоянии г		Доля неразложившейся подстилки
	Начальная C _t	Через год C ₀	
ПП2-2	30	12,77	0,426
ПП2-4	30	12,44	0,415
ПП2-9	30	12,79	0,426
ПП2-11	30	12,2	0,407
ПП2-13	30	12,5	0,417
ПП2-14	30	12,77	0,426
ПП2-16	30	12,52	0,417
ПП2-18	30	12,5	0,417
ПП2-19	30	12,32	0,411
Среднее	30	12,534	0,418

Как показывают итоговые данные, годовая масса образцов варьирует от 14,17 до 12,51 г на первой пробной площади и от 12,79 до 12,2 г на второй пробной площади.

Средние показатели массы к концу года по каждой площади составили 13,08 г – на первой пробной площади и 12,53 г – на второй пробной площади. Средний коэффициент разложения составил 0,436 и 0,418 соответственно. Разница не большая и говорит о схожих условиях разложения подстилки.

Интенсивность разложения подстилки принято характеризовать удельной скоростью разложения. Которая показывает долю от запаса подстилки на которую она убывает за единицу времени ($\text{мг г}^{-1} \text{год}^{-1}$).

Однако разложение подстилки идет нелинейно. Сначала быстро разлагаются легкодоступные почвенным гетеротрофным организмам вещества, затем существенно медленнее остальная часть. Поэтому расчет такого показателя по итогам одного года не будет достоверным.

Считается, что разложение подстилки идет по экспоненте в общем виде описываемой уравнением [2]:

$$\frac{C_t}{C_0} = e^{-kt} \quad (1)$$

где C_t и C_0 масса образца в начале и конце эксперимента,

t - время эксперимента, год.

k – константе разложения

При этом константа разложения часто используется как самостоятельный показатель интенсивности разложения и может быть оценена по формуле :

$$k = \ln (C_t / C_0) / t, \quad (2)$$

где C_t и C_0 масса образца в начале и конце эксперимента,

t - время эксперимента, год.

По нашим данным константа разложения для первой пробной площади составила 0,830, для второй 0,873. Такой коэффициент говорит об очень высокой скорости разложения подстилки. По данным О.В. Трефиловой [2] в сосняках средней тайги константа разложения подстилки составила для Сосняка зеленомошного 20 лет – 0,126, Сосняка зеленомошного 250 лет – 0,109, Сосняков лишайниковых 15 лет – 0,082, Сосняков лишайниковых 260 лет – 0,096.

Значения k , для сосновых насаждений: древесина валежа – 0,015 – 0,044 год^{-1} и пней – 0,002 – 0,037 год^{-1} , растительный материал подстилки и корневого детрита, соответственно 0,33-0,089 и 0,33 – 0,03 год^{-1} [2,9].

В тоже время исследуемые О.В. Трефиловой сосняки относятся в основном к четвертому классу бонитета. А исследуемые нами пробные площади относятся к первому

(пробные площади 3 и 4) и третьему классам бонитета (пробные площади 5 и 6), южный склон и достаточное количество осадков. Кроме того большой объем хвойного опада дополнительно создает оптимальные условия влажности для разложения органических веществ в горизонте гумификации.

По полученному коэффициенту и формуле 23 можно построить диаграмму разложения массы подстилки (рисунок 3).

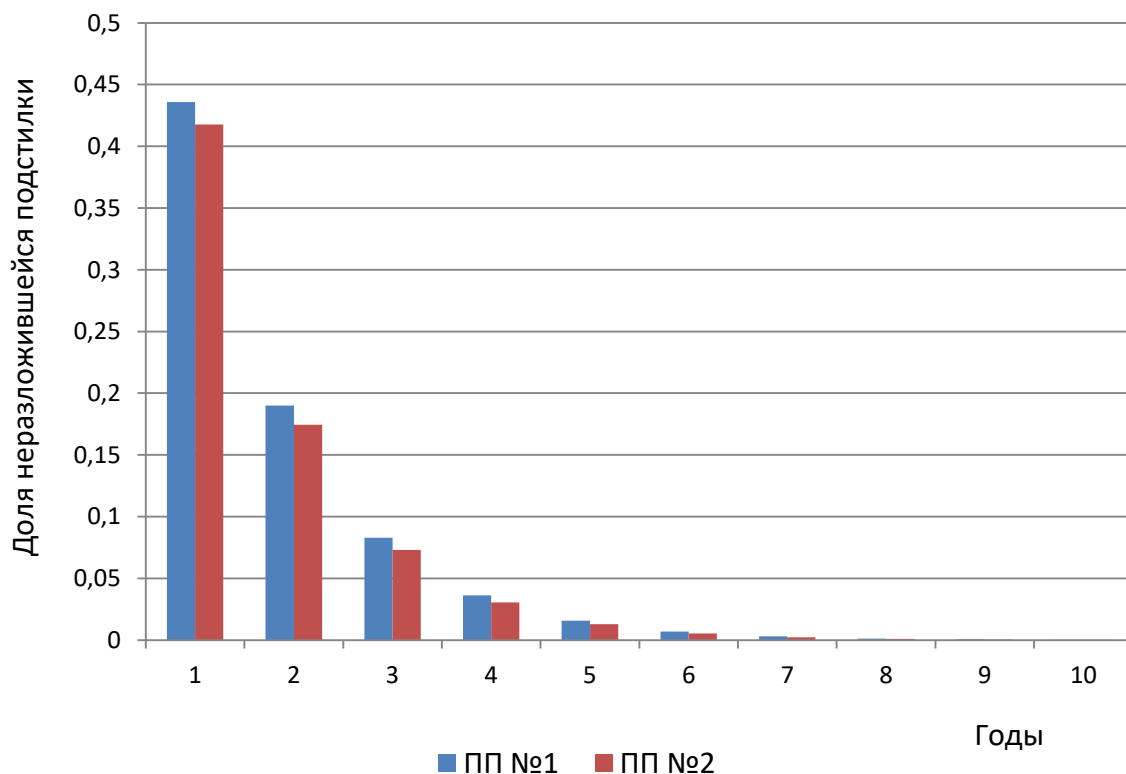


Рисунок 3 – Диаграмма изменения массы образцов подстилки

Как видно по диаграмме в течение 7 лет подстилка должна практически полностью разложиться (остаток менее 1 %). Таким образом, среднегодовое снижение массы подстилки составит $0,1437 \text{ мг г}^{-1} \text{ год}^{-1}$, или 14,37 % год. Для пробных площадей потеря запаса углерода составит 1,8 т/га в год для пробной площади №1 и 3,8 т/га для пробной площади №2.

По данным Э.Ф. Ведровой и др. [10] потеря массы углерода органического вещества для сосняков складывается из следующих направлений: 93% разлагаясь, минерализуется до CO_2 и возвращается в атмосферу; 4% выносится в почву в виде водорастворимых органических продуктов; гумифицируется 3,4% формирование свежееобразованных гумусовых веществ, не прочно связанных с минеральной основой почвы 0,5%.

Таким образом в атмосферу в виде CO_2 возвращается, соответственно 1,95 тС/га и 4,13 тС/га. Это сопоставимо с данными Ведровой Э.Ф. сосновых культур $298 \text{ г м}^{-2} \text{ год}^{-1}$ [1], или (16% в год), и данными Стойко Е.В. $228 \text{ г м}^{-2} \text{ год}^{-1}$ [12].

Исследования проведенные на соседнем участке древостое с близкими таксационными характеристиками и типом леса и историей формирования показали, что масса опада, по наблюдениям в период 05.05.2022 по 01.11.2022, составила $341,27 \pm 54,90 \text{ г м}^2$ (в абсолютно сухом состоянии), или 1,60 т углерода на га. При этом по данным некоторых исследователей на зимний период приходится 25 % объема опада [13,14]. Таким образом, годовой объем поступления углерода составит примерно 2,13 т углерода на га.

В целом, полученные данные по представленным насаждениям, демонстрируют довольно высокую интенсивность разложения подстилки. Объем опада и среднегодовое снижение массы подстилки близки и говорят о стабильном запасе лесной подстилки. При этом время полного разложения подстилки примерно и объем опада могут быть критериями для оценки объема депонированного в подстилке углерода.

Эксперимент по оценке интенсивности разложения подстилки продолжается и в дальнейшем возможно уточнение полученных результатов.

Исследование проводилось в рамках государственного задания, установленного Министерством науки и высшего образования Российской Федерации, для реализации проекта «Закономерности формирования пула углерода в лесных насаждениях на землях, вышедших из-под сельскохозяйственного назначения» (№ FEFE–2023–0006) коллективом научной лаборатории «Лесных экосистем».

Библиографический список:

1. Ведрова Э. Ф. Масса подстилки и интенсивность ее разложения в 40-летних культурах основных лесобразующих пород Сибири / Э. Ф. Ведрова, Т. В. Решетникова // Лесоведение, 2014, № 1, с. 42–50.
2. Трефилова О. В. Интенсивность гетеротрофного дыхания в сосняках средней тайги: сравнительный анализ методов оценки / О. В. Трефилова // Хвойные бореальной зоны, 2007, XXIV, № 4 – 5, с. 467-473.
3. Цыкунов, И. А. Накопление лесной подстилки в сосновых насаждениях / И. А. Цыкунов // Лесоведение и лесное хозяйство : республиканский межведомственный сборник. - Минск : Вышэйшая школа, 1974. – Вып. 8. - С. 52-55.

4. Иванов А. В. Запасы лесных подстилок в кедрово-широколиственных лесах южного Сихотэ-Алиня / А. В. Иванов // Сибирский лесной журнал. 2015 № 5 С. 87–95.
5. Бунькова Н. П. Рекреационная устойчивость и емкость сосновых насаждений в лесопарках Екатеринбурга / Н.П. Бунькова, С.В. Залесов // монография: электронное издание. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2016. – 124 с. - 8,92 Мб.
6. Ika Djukic Изучение разложения растительной подстилки в глобальном масштабе// Global litter decomposition study 2016.08.20 Перевод Евгений Александрович Давыдов (https://www.teacomposition.org/wp-content/uploads/2019/05/TeaCompositionprotocol_ILTER_20160802_RUS.pdf)
7. Решетникова, Т. В. Лесные подстилки как депо биогенных элементов / Т. В. Решетникова // Вестник КрасГАУ. – 2011. – № 12(63). – С. 75-82. – EDN ONHNKN.
8. Герасимова О.А и др. Оценка биомассы высокополнотных сосняков на залежных землях в условиях подтаежно-лесостепного района средней Сибири / О. А. Герасимова, А. И. Мельник, С. К. Мамедова [и др.] // Актуальные проблемы лесного комплекса. – 2022. – № 62. – С. 18-24. – EDN GKQGYB.
9. Ведрова Э.Ф. Деструкционные процессы в углеродном цикле лесных экосистем диссертация на соискание ученой степени доктора биологических наук. Красноярск 2005. 60 С.
10. Ведрова, Э. Ф. Трансформация органического вещества подстилки в лесных культурах* / Э. Ф. Ведрова, Л. В. Мухортова, М. К. Метелева // Лесоведение. – 2018. – №1. – С. 24-36. – DOI 10.7868/S0024114818010023. – EDN YMNLTQ.
11. Распоряжение Минприроды России «Об утверждении методических указаний по количественному определению объёма поглощения парниковых газов» от 30.06.2017 г. № 20-р (ред. от 20.01.2021 г.). – 2017.
12. Стойко Е.В Интенсивность разложения лесной подстилки (экспериментальное исследование). Сборник материалов Международной конференции студентов, аспирантов и молодых учёных «Перспектив-2016», посвящённой Году образования в Содружестве Независимых Государств. Красноярск 2016, СФУ, С. 91-94.
13. Иванова, Е. А. Динамика массы и состава древесного опада в сосняке Лапландского заповедника / Е. А. Иванова, Л. Г. Исаева // . – 2019. – № 16. – С. 211-215. – DOI 10.31241/FNS.2019.16.043. – EDN CEYZEA.
14. Иванова, Е. А. Варьирование массы и фракционного состава древесного опада в сосняках кустарничково-лишайниковых при аэротехногенном загрязнении / Е. А. Иванова, Н. В. Лукина // Лесоведение. – 2017. – № 5. – С. 47-58. – DOI 10.7868/S0024114817050059. – EDN ZFPNIN.